

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 58 704 A 1**

⑳ Aktenzeichen: 199 58 704.3  
㉑ Anmeldetag: 6. 12. 1999  
㉒ Offenlegungstag: 13. 6. 2001

㉓ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 15 B 15/08**  
F 15 B 5/00  
H 02 N 2/04  
F 02 M 47/06

DE 199 58 704 A 1

㉔ Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

㉕ Erfinder:  
Gottlieb, Bernhard, Dr., 81739 München, DE;  
Kappel, Andreas, Dr., 85649 Brunnthal, DE; Mock,  
Randolf, Dr., 81739 München, DE; Meixner, Hans,  
Prof. Dr., 85540 Haar, DE; Fischer, Bernhard, 84513  
Töging, DE

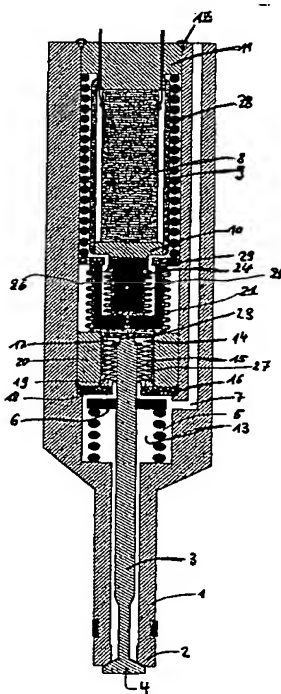
㉖ Entgegenhaltungen:  
DE 197 08 304 A1  
DE 41 38 985 A  
DE 297 08 546 U1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉗ Vorrichtung zum Übertragen einer Aktorbewegung und Fluiddosierer mit einer solchen Vorrichtung

㉘ Ein Übertragungsmodul zum Übertragen der Bewegung eines Aktors, insbesondere eines Piezo-Aktors, auf ein Stellglied, insbesondere eine Ventilnadel, weist drei hintereinander angeordnete Kolbenelemente auf, wobei zwischen einem ersten Kolbenelement, das sich in Kontakt mit dem Aktor befindet, und einem zweiten mittleren Kolbenelement, das beweglich und mit einer druckwirksamen Kraft beaufschlagt angeordnet ist, eine Speicherkammer und zwischen dem zweiten mittleren Kolbenelement und einem dritten Kolbenelement, das sich in Kontakt mit dem Stellglied befindet, eine Hydraulikkammer ausgebildet ist, wobei die Speicherkammer mit der Hydraulikkammer über eine Drosselstelle in Verbindung steht. Das zweite mittlere Kolbenelement ist dabei vorzugsweise an Metallbälgen aufgehängt.



DE 199 58 704 A 1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Übertragen einer Bewegung eines Aktors auf ein Stellglied gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und insbesondere einen Fluiddosierer mit einer solchen Vorrichtung. Eine solche Vorrichtung, im Weiteren auch als Übertragungsmodul bezeichnet, ist aus der DE 197 08 304 A1 bekannt.

In der Kraftfahrzeugtechnik werden zunehmend Speichereinspritzsysteme eingesetzt, bei denen mit sehr hohen Einspritzdrücken gearbeitet wird. Bei solchen z. B. unter der Bezeichnung "Common-Rail-Systeme" bekannten Einspritzsystemen wird Kraftstoff unter hohem Druck an in den Zylindern angeordneten Einspritzventilen angelegt. Der Einspritzvorgang in die Zylinder wird durch Öffnen und Schließen der Einspritzventile ausgelöst, wobei die Einspritzventile über Aktoren angesteuert werden, die nach dem elektromagnetischen und – um hohe Schaltgeschwindigkeiten zu erreichen – auch nach dem piezoelektrischen Prinzip arbeiten. Die Aktoren in Einspritzventilen betätigen dabei, ggf. unter Zwischenschaltung eines Servoventils, eine Ventalnadel im Einspritzventil.

Aus der DE 197 08 304 A1 ist ein Übertragungsmodul bekannt, das die Auslenkung des Aktors auf einen Antriebsstempel des Servoventils bzw. einen Führungsschaft der Ventalnadel überträgt. Das Übertragungsmodul ist im Wesentlichen zylinderförmig ausgebildet und weist eine Hydraulikkammer auf, die von einer flexiblen Membran begrenzt ist. An der flexiblen Membran liegt der Antriebsstempel des Servoventils bzw. der Führungsschaft der Ventalnadel an. Von der Hydraulikkammer führt eine Verbindungsbohrung mit Drosselwirkung zu einer Speicherkammer, die im Inneren des Übertragungsmoduls vorgesehen ist und durch eine vorgespannte Federplatte abgeschlossen wird.

Die Hydraulikkammer und die Speicherkammer sind mit einem hydraulischen Medium gefüllt. Über der Federplatte in der Speicherkammer ist eine starre Abdeckplatte angeordnet, die am Aktor des Einspritzventils anliegt.

Im Ruhezustand wird über die Verbindungsbohrung der in der Speicherkammer herrschende Druck des hydraulischen Mediums auf die Hydraulikkammer übertragen, so dass die flexible Membran immer am Antriebsstempel des Servoventils bzw. am Führungsschaft der Ventalnadel anliegt, auch wenn sich aufgrund thermischer Effekte oder Alterungsprozesse Verschiebungen in der Anordnung der einzelnen Komponenten im Einspritzventil ergeben. Bei einer Betätigung des Aktors wird die Auslenkung dieses Aktors über das Übertragungsmodul im Wesentlichen unverändert auf den Antriebsstempel des Servoventils bzw. den Führungsschaft der Ventalnadel übertragen. Die Verbindungsbohrung zwischen der Hydraulikkammer und der Speicherkammer ist hierzu so ausgelegt, dass aufgrund der im Bereich von Millisekunden liegenden Ansteuerzeiten im Wesentlichen kein hydraulisches Medium aus der Hydraulikkammer in die Speicherkammer abfließen kann.

Das aus der DE 197 08 304 A1 bekannte Übertragungsmodul hat jedoch einen komplizierten Aufbau und erfordert darüber hinaus einen hohen Montageaufwand beim Einsetzen in das Einspritzventil. Weiterhin ist es mit dem bekannten Übertragungsmodul schwierig, eine Temperaturkompensation über den gesamten Arbeitsbereich des Einspritzventils von  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $+150^{\circ}\text{C}$  zu gewährleisten. Die hochdynamischen Schaltvorgänge des Einspritzventils sowie die hohen, auf das hydraulische Medium im Übertragungsmodul wirkenden Drücke bis 300 bar stellen darüber hinaus große Anforderungen an Druck- und Verschleißfestigkeit des Übertragungsmoduls. Dies gilt insbesondere für Einspritzventile, bei denen Piezoelemente als Aktoren einge-

setzt sind. Diese Piezo-Aktoren ermöglichen zwar schnelle Schaltgeschwindigkeiten, haben jedoch nur einen geringen Hub, so dass Hubverluste bei der Übertragung der Aktorbewegung dazu führen können, dass die Ventalnadel im Einspritzventil nicht mehr zuverlässig öffnet. Im Stand der Technik z. B. aus der US 4 101 076, sind auch bereits mechanische Hebelübersetzer bekannt, um den Hub des Piezo-Aktors zu verstärken. Hier ist jedoch dann neben den Übertragungsmodul zur Temperaturkompensation ein zusätzliches Hebelelement erforderlich, wodurch sich der Herstellungs- und Montageaufwand erheblich vergrößert.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung zum Übertragen einer Bewegung eines Aktors auf ein Stellglied und einen Fluiddosierer mit einer solchen Vorrichtung bereitzustellen, die sich durch eine große Zuverlässigkeit auch bei hohen Dauerbelastungen und extremen Betriebsbedingungen auszeichnen und darüber hinaus einfach aufgebaut und gefertigt werden können.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 und einen Fluiddosierer gemäß Anspruch 10 gelöst.

Gemäß der Erfindung weist das Übertragungsmodul drei hintereinander angeordnete Kolbenelemente auf, wobei zwischen einem ersten, sich in Kontakt mit einem Aktor befindenden Kolbenelement und einem zweiten mittleren Kolbenelement eine Speicherkammer und zwischen dem zweiten mittleren Kolbenelement und einem dritten sich in Kontakt mit einem Stellglied befindenden Kolbenelement eine Hydraulikkammer ausgebildet sind, wobei die Speicherkammer mit der Hydraulikkammer über eine Drosselstelle in Verbindung steht und das zweite mittlere Kolbenelement beweglich und mit einer druckwirksamen Kraft beaufschlagt zwischen dem ersten und dem dritten Kolbenelement angeordnet ist. Dieser Aufbau leistet zuverlässig eine selbsttätige Kompensation auch bei großen Längenänderungen im Fluidosierer zwischen dem Piezo-Aktor und dem Stellglied, die durch thermische, Druck- oder Setzeffekte hervorgerufen werden können. Weiterhin lässt sich durch diese Anordnung das Übertragungsmodul kompakt gestalten, so dass eine einfache Montage des Übertragungsmoduls gewährleistet wird.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform kann durch geeignete Wahl des Größenverhältnisses der Wirkflächen des zweiten mittleren Kolbens und des dritten, sich in Kontakt mit dem Stellglied befindlichen Kolbens eine Hubübersetzung der Aktorbewegung auf das Stellglied erfolgen. Hierdurch wird erreicht, dass auch beim Einsatz eines Piezoelements als Aktor ein ausreichender Hub zum Betätigen des Stellgliedes erzeugt wird.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist der zweite mittlere Kolben über Metallbälge zwischen den beiden äußeren Kolben aufgehängt. Der Einsatz von Metallbälgen hat den Vorteil, dass bei einer Druckbeaufschlagung der Wandungen der Metallbälge nur kleine Kraftänderungen an den Enden der beiderseitig befestigten Bälge auftreten. Die axialen Deformationen der Balgwellen sind zwar dabei durchaus nicht gering, heben sich aber genau wie die auf die einzelnen Balgwellen wirkenden Kräfte in ihrer Summe über die Gesamtlänge der Metallbälge nahezu auf.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist einer der Metallbälge, an dem der zweite mittlere Kolben aufgehängt ist, vorgespannt, so dass der zweite mittlere Kolben mit einer entsprechenden druckwirksamen Kraft beaufschlagt wird. Diese Ausgestaltung ermöglicht einen besonders einfachen und kompakten Aufbau des Übertragungsmoduls.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Patentansprüchen angegeben.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 ein Kraftstoffeinspritzventil mit einem erfindungsgemäßen Übertragungsmodul; und

Fig. 2 eine vergrößerte Darstellung des erfindungsgemäßen Übertragungsmoduls.

Bei dem in Fig. 1 schematisch gezeigten Einspritzventil ist in einem oberen Teil eines Gehäuses 1 eine Antriebseinheit eingebaut, die als wesentliches Bauteil einen piezoelektrischen Multilayeraktor 8 in Niedervolttechnik aufweist. Dieser piezoelektrische Multilayeraktor 8 ist von einer Rohrfeder 9 umgeben, die zwischen einer Kopfplatte 10 und einer Fußplatte 11 eingeschweißt ist, wobei die Rohrfeder 9 so vorgespannt wird, dass der piezoelektrische Multilayeraktor 8 unter einer mechanischen Druckvorspannung steht. Das Gehäuse 1 des Einspritzventils ist mit der Fußplatte 11 der Antriebseinheit möglichst steif, vorzugsweise über eine Schweißnaht 12, verbunden.

Der piezoelektrische Multilayeraktor 8 wirkt, wenn er elektrisch über seinen Zuleitungen 32 angesteuert wird, über ein Übertragungsmodul auf das hintere Ende einer Ventildadel 3 ein. Die Ventildadel 3 ist im vorderen Teil des Gehäuses 1 des Einspritzventils angeordnet und verschließt im Grundzustand mit einem am vorderen Ende der Ventildadel 3 angeordneten Ventilteller 4 einen Ventilsitz 2 am Gehäuse 1. Der geschlossene Grundzustand der durch den Ventilsitz 2 und den Ventilteller 4 gebildeten Einspritzdüse im Einspritzventil wird dabei durch eine vorgespannte Düsenfeder 5 gewährleistet, die mit der Ventildadel 3 über einen Sprengling 6 verbunden ist. Bei einer Ansteuerung des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 hebt die vom Übertragungsmodul auf das hintere Ende der Ventildadel 3 übertragene Auslenkung den Ventilteller 4 vom Ventilsitz 2 ab, so dass Kraftstoff, der in eine Kraftstoffkammer 13 im Gehäuse 1 über eine Kraftstoffzuleitung 7 eingespeist wird, an der Ventildadel 3 vorbei in einen Brennraum einer Brennkraftmaschine eingespritzt werden kann.

Das in Fig. 1 dargestellte Einspritzventil wird mit einem Kraftstoffdruck bis ca. 500 bar betrieben. Der Bereich im Gehäuse 1 des Einspritzventils, insbesondere die Kraftstoffkammer 13, in der dieser hohe Druck vorliegt, muss deshalb zuverlässig von den übrigen Bereichen im Gehäuse 1 des Einspritzventils, insbesondere von dem Antriebsbereich, in dem bspw. Umgebungsdruck herrscht, abgedichtet sein. Zur hermetisch dichten und axial sehr weichen Durchführung der Ventildadel 3 aus der Kraftstoffkammer 13 in einen drucklosen, luftgefüllten Zwischenraum 14, in dem die Antriebseinheit mit dem Übertragungsmodul eingebaut ist, dient ein Anschlussring 16, der an die Kraftstoffkammer 13 angrenzend angeordnet ist. Der Anschlussring 16 ist dabei fest mit dem Gehäuse 1 des Einspritzventils verschweißt oder kann auch aus dem Gehäuse 1 herausgearbeitet sein. Am hinteren Ende der Ventildadel 3 ist weiterhin ein ringförmiges Anschlussstück 17 angebracht. Zwischen dem Anschlussstück 17 am hinteren Ende der Ventildadel 3 und dem Anschlussring 16 am Gehäuse 1 ist ein zylindrischer Metallbalg 15 eingeschweißt, der zur hermetischen Abdichtung der Kraftstoffkammer 13 gegenüber dem drucklosen, luftgefüllten Zwischenraum 14, in dem sich die Antriebseinheit und das Übertragungsmodul befindet, dient.

Die aus dem Metallbalg 15, dem Anschlussstück 16 und dem Anschlussring 17 bestehende Nadeldurchführung wird vorzugsweise als eigenständiges Modul gefertigt und dann jeweils mit dem Gehäuse 1 bzw. der Ventildadel 3 verschweißt. Die Montageschritte des Einspritzventils erfolgen dabei typischerweise in folgender Reihenfolge:

Zuerst wird die Ventildadel 3 in das Gehäuse 1 eingeführt und mit der Düsenfeder 5 über den Sprengling 6 vorge-

spannt. Danach wird die Nadeldurchführung aus dem Metallbalg 15, dem Anschlussstück 16 und dem Anschlussring 17 als eigenständiges Modul in das Gehäuse 1 um die Ventildadel 3 herum eingeschoben, bis der Anschlussring 17 auf einem Querschnittsprung 18 im Gehäuse 1 aufsitzt. Anschließend wird das Anschlussstück 16 mit dem Gehäuse 1 und der Anschlussring 17 mit der Ventildadel 3 dicht verschweißt.

Die Verwendung des Metallbalgs 15 in der Nadeldurchführung ermöglicht eine perfekte, dauerhafte und zuverlässige Abdichtung des Hochdruckbereiches im Einspritzventil gegenüber dem Antriebsbereich. Der Metallbalg 15 hält, wie Berechnungen und Versuche gezeigt haben, trotz geringer Wandstärken von bspw. 50 bis 500 µm aufgrund seiner hohen radialen Steifigkeit sehr hohen Drücken stand, ohne irreversibel verformt zu werden. Der Metallbalg 15 kann weiterhin so ausgelegt werden, dass durch eine hinreichende Anzahl von Wellen eine hohe mechanische Nachgiebigkeit, d. h. geringe Federrate in Bewegungsrichtung der Ventildadel 3 erreicht wird, um die Auslenkung der Ventildadel 3 nicht zu beeinträchtigen und um die durch temperaturbedingte Längenänderungen der Nadeldurchführung in die Ventildadel 3 eingeleiteten Kräfte so gering wie möglich zu halten. Weiterhin kann durch den Einsatz des Metallbalgs 15 in der Nadeldurchführung mit hoher Zuverlässigkeit eine Kraftstoffleckage verhindert werden.

Die Nadeldurchführung kann außerdem so gestaltet werden, dass die auf die Ventildadel 3 wirkenden druckbedingten Kräfte sich gegenseitig kompensieren, so dass die Ventildadel 3 insgesamt druckfrei gehalten wird. Hierzu wird der hydraulisch wirksame Durchmesser des Balganschlusses so gewählt, dass er genau dem Durchmesser des Ventilsitzes 2 entspricht. Hierdurch wird erreicht, dass die von dem unter Druck stehenden Kraftstoff auf die Ventildadel 3 mit dem Ventilteller 4 ausgelösten Druckkräfte und die vom Metallbalg 15 in die Ventildadel 3 eingeleiteten druckbedingten Kräfte sich gegenseitig kompensieren und somit keine resultierende Druckkraftkomponente auf die Ventildadel 3 wirkt. Dies gewährleistet, dass das Einspritzventil ein von Kraftstoffdruck nahezu unabhängiges Schaltverhalten zeigt, da die Öffnungs- und Schließkräfte allein vom piezoelektrischen Multilayeraktor 8 und der Kraft der vorgespannten Düsenfeder 5 bestimmt werden.

Der Metallbalg 15 verfügt weiterhin aufgrund seines metallischen Werkstoffes über einen weiten Arbeitstemperaturbereich mit gleichbleibender Funktionsfähigkeit. Thermische Längenänderungen des Metallbalgs 15 selbst führen aufgrund der niedrigen axialen Federkonstante des Metallbalgs 15 nur zu vernachlässigbar geringen Kraftänderungen an der Ventildadel 3 in axialer Richtung. Der Metallbalg 15 kann darüber hinaus aufgrund seiner mechanischen Federwirkung in axiale Richtung auch die Düsenfeder 5 teilweise oder vollständig ersetzen.

Um den extrem kurzen Hub des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 auf die Ventildadel 3 zu übertragen, ist das Übertragungselement zwischen der Antriebseinheit und der Ventildadel 3 als Hubübersetzer vorgesehen. Weiterhin dient das Übertragungsmodul als hydraulisches Ausgleichselement, um jegliches Spiel zwischen dem piezoelektrischen Multilayeraktor 8 und der Ventildadel 3 auszuschließen. Das Übertragungsmodul, das in Fig. 2 in einer vergrößerten Darstellung gezeigt ist, besteht aus einem Montagering 19, einer Lochplatte 20, einem Primärkolben 21 mit einer Drosselstelle 22, einem Sekundärkolben 23, einem Stempel 24 und drei Metallbälgen 25, 26 und 27. Das Übertragungsmodul ist dabei so zwischen der Antriebseinheit mit dem piezoelektrischen Multilayeraktor 8 und der Ventildadel 3 angeordnet, dass der Stempel 24 des Übertragungsmoduls an der

Kopfplatte 10 der Antriebseinheit anliegt und der Sekundärkolben 23 sich in Kontakt mit dem hinteren Ende der Ventalnadel 3 befindet.

Der Primärkolben 21 des Übertragungsmoduls ist vorzugsweise topfförmig ausgebildet, wobei in einer Bodenfläche 211 mittig die Drosselstelle 22 angeordnet ist. Der Stempel 24 des Übertragungsmoduls greift mit einem Fußteil 241 in den topfförmigen Primärkolben 21 ein, wobei der Stempel 24 von dem ersten Metallbalg 25 gehalten wird, der zwischen einem Kopfteil 242 des Stempels 24 und der Bodenfläche 211 des Primärkolbens 21 eingeschweißt ist. Dabei ist zwischen der Bodenfläche 211 des Primärkolbens 21 und einer Stirnfläche am Fußteil 241 am Stempel 24 eine Speicherkammer 31 ausgebildet.

Der Primärkolben 21 wird weiterhin von dem zweiten Metallbalg 26 auf der blockförmigen Lochplatte 20 gehalten, wobei der Metallbalg 26 zwischen einer Umbördelung 212 am oberen Rand des Primärkolbens 21 und einer oberen Stirnfläche 201 der Lochplatte 20 eingeschweißt ist. Der Montagering 19 ist in der Innenbohrung der Lochplatte 20 an einer unteren Stirnfläche 202 angrenzend angeordnet und trägt über den dritten Metallbalg 27 den scheibenförmig ausgebildeten Sekundärkolben 23, der im Wesentlichen auf einer Ebene mit der oberen Stirnfläche 201 der Lochplatte 20 liegt. Der dritte Metallbalg 27 ist dabei fest mit dem Montagering 19 und den beiden Seitenflächen des Sekundärkolbens 23 verschweißt. Zwischen dem Primärkolben 21 und den Sekundärkolben 23 ist eine Hydraulikkammer 36 ausgebildet, die über die Drosselstelle 22 mit der Speicherkammer 31 verbunden ist. Alle Elemente des Übertragungsmoduls sind dichtend miteinander verschweißt, wobei der sich ergebende Innenraum des Übertragungsmoduls vollständig blasenfrei mit einer Hydraulikflüssigkeit gefüllt ist. Die Metallbälge 25, 26 und 27 sind weiterhin, ähnlich wie der Metallbalg 15, hinreichend druckbelastbar ausgelegt, sowie radial sehr steif und axial sehr weich ausgebildet.

Wie Fig. 1 zeigt, ist auf der Umbördelung 212 des Primärkolbens 21 des Übertragungsmoduls im eingebauten Zustand eine Druckscheibe 29 angeordnet, die den Kopfteil 242 des Stempels 24 einfasst und mit einer weichen Druckfeder 28 druckbelastet wird, die um die Rohrfeder 9 herum angeordnet und auf der Fußplatte 11 der Antriebseinheit abgestützt ist. Die Vorspannung der Druckfeder 28 wird dabei über die Druckscheibe 29 auf den Primärkolben 21 übertragen, so dass im Übertragungsmodul ein konstanter Basisdruck auf die Hydraulikflüssigkeit in der Speicherkammer 31 und der Hydraulikkammer 36 wirkt.

Dieser Basisdruck bewirkt, dass der Stempel 24 des Übertragungsmoduls immer mit einer kleinen Kraft auf Anlage mit der Kopfplatte 10 der Antriebseinheit gehalten wird und dass weiterhin der Sekundärkolben 23 mit einer kleinen Kraft auf dem hinteren Ende der Ventalnadel 3 aufliegt. Die Lage des Primärkolbens 21 zwischen dem Stempel 24 und dem Sekundärkolben 23 ist dabei so eingestellt, dass die Hydraulikkammer 36, die zwischen dem Primärkolben 21 und dem Sekundärkolben 23 ausgebildet ist, eine Höhe HK von ca. 50 bis 1000 µm besitzt und die Höhe HS der Speicherkammer 31, die zwischen der Stirnfläche des Fußteils 241 des Stempels 24 und der Bodenfläche 211 des Primärkolbens 21 ausgebildet wird, im Bereich von 50 bis 1000 µm liegt.

Wie in Fig. 2 gezeigt, ist das Übertragungsmodul vorzugsweise als eigenständiges Modul ausgebildet, das idealerweise in folgender Reihenfolge montiert wird:

Nach dem Anbringen der Nadeldurchführung wird das gesamte Übertragungsmodul in das Gehäuse 1 des Einspritzventils eingesetzt, wobei die Lochplatte 20 mit einer Schweißnaht am Gehäuse 1 fixiert wird. Danach werden die

Druckscheibe 29 und die Druckfeder 28 auf die Umbördelung 212 am Primärkolben 21 des Übertragungsmoduls aufgesetzt. Schließlich wird die vormontierte Antriebseinheit aus dem piezoelektrischen Multilayeraktor 8, der Kopfplatte 10, der Fußplatte 11 und der Rohrfeder 9 in das Gehäuse 1 soweit eingedrückt, bis die Druckfeder 28 durch die Fußplatte 11 mit der gewünschten Vorspannung belastet ist, so dass die Hydraulikflüssigkeit im Übertragungsmodul unter dem gewünschten Basisdruck steht. Die Antriebseinheit wird dann in dieser Stellung über die Schweißnaht 29 zwischen der Fußplatte 11 steif und fest mit dem Gehäuse 1 verbunden. Die gewählte Ausgestaltung ermöglicht also eine besonders einfache Fertigung und Montage des Übertragungsmoduls im Einspritzventil.

Das Einspritzventil mit dem Übertragungsmodul arbeitet wie folgt:

Zur Einleitung des Einspritzvorganges wird der piezoelektrische Multilayeraktor 8 über die elektrischen Zuleitungen 32 geladen. Dies bewirkt, dass der piezoelektrische Multilayeraktor 8 sich auslenkt und über die Kopfplatte 10 mit hoher Kraft auf den Kopfteil 241 des Stempels 24 drückt. Bei dem Übertragungsmodul ist die Drosselstelle 22 im Primärkolben 21 weiterhin so dimensioniert, dass während der typischen Ansteuerzeiten des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 von 1 bis 5 ms nur ein verschwindend geringer Austausch von Hydraulikflüssigkeit zwischen der Speicherkammer 31 und der Hydraulikkammer 36 stattfinden kann. Dies bedeutet, dass das Volumen der Speicherkammer 31 während der Einspritzzeit als inkompressibel betrachtet werden kann.

Da der Metallbalg 25, der zwischen dem Stempel 24 und dem Primärkolben 21 angeordnet ist, radial sehr steif ausgelegt ist und wie erläutert, nur wenig Hydraulikflüssigkeit über die Drosselstelle 22 aus der Speicherkammer 31 abfließen kann, überträgt sich die durch den piezoelektrischen Multilayeraktors 8 ausgelöste Bewegung des Stempels 24 direkt auf den Primärkolben 21. Durch die Bewegung des Primärkolbens 21 steigt der Druck in der Hydraulikkammer 36 zwischen dem Primärkolben 21 und dem Sekundärkolben 23 an. Übersteigt die sich dadurch auf den Sekundärkolben 23 ergebende Kraft die Rückstellkraft der Düsenfeder 5, wird die Ventalnadel 3 durch den Sekundärkolben 23 nach unten gedrückt, so dass der Ventilteller 4 vom Ventilsitz 2 abhebt und das Einspritzventil sich öffnet.

Die Auslenkung des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 wird dabei entsprechend dem Verhältnis der druckwirksamen Flächen des Primärkolbens 21 und des Sekundärkolbens 23 in der Hydraulikkammer 36 in einen Hub der Ventalnadel 3 übersetzt. Als Primärkolbenfläche wirkt die vom Innendurchmesser des Anschlusses des Metallbalges 26 aufgespannte Kreisfläche des Primärkolbens 21. Die Sekundärkolbenfläche wird dagegen vom Außendurchmesser des Anschlusses des Metallbalges 27 bestimmt. Durch geeignete Abstimmung der Primärkolbenfläche zur Sekundärkolbenfläche lässt sich also eine geeignete Übersetzung des Hubes des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 in Bezug auf den Hub der Ventalnadel 3 einstellen. Hierdurch kann zuverlässig gewährleistet werden, dass der extrem kurze Hub des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 bei allen Betriebsbedingungen des Einspritzventiles ausreicht, die Ventalnadel 3 zu öffnen.

Der Einspritzvorgang wird beendet, indem der piezoelektrische Multilayeraktor 8 über die elektrischen Zuleitungen 32 wieder entladen wird. Hierdurch verkürzt sich der piezoelektrische Multilayeraktor 8 auf seine Ausgangslänge, wobei die Rohrfeder 9 verhindert, dass die Piezo-Keramik durch Massenträgheitseffekte beim Kontrahieren unter Zugspannung gerät. Durch die Rückstellkraft der Düsenfe-

der 5 wird die Ventilnadel 3 wieder in ihre geschlossenen Position, bei der der Ventilteller 4 auf dem Ventilsitz 2 aufsteht, gebracht. Weiterhin wird der Sekundärkolben 23 des Übertragungsmoduls vom hinteren Ende der Ventilnadel 3 wieder in seine Ausgangsposition zurückgeschoben, wodurch der Druck in der Hydraulikkammer 36 ansteigt. Da das Volumen der Hydraulikkammer 36 nahezu inkompressibel ist und die Drosselstelle 22 so dimensioniert ist, dass der schnelle Druckanstieg in der Hydraulikkammer 36 nicht durch Abströmen von Hydraulikflüssigkeit über die Drosselstelle 22 in die Speicherkammer 31 abgebaut werden kann, wird der Druckanstieg auf den Primärkolben 21 weitergegeben, so dass dieser sich gegen die Vorspannkraft der Druckfeder 28 nach oben bewegt. Dies bewirkt einen Druckanstieg in der Speicherkammer 31, wodurch der Stempel 24 in Richtung auf die Fußplatte 10 am piezoelektrischen Multilayeraktor 8 zubewegt wird, bis er mit dieser zur Anlage kommt.

Durch die erfindungsgemäße Auslegung des Übertragungsmoduls ist es weiterhin möglich, selbsttätig alle thermischen bzw. durch Setzeffekte der Antriebseinheit hervorgerufenen oder druckbedingten Längenänderungen im Einspritzventil durch das Übertragungsmodul auszugleichen. Das Übertragungsmodul bewirkt eine Längenkompensation auf folgende Weise:

Vergrößert sich z. B. aufgrund der thermischen Dehnung des Gehäuses 1 des Einspritzventils der Abstand zwischen dem oberen Ende der Ventilnadel 3 und der Kopfplatte 10, so fällt der Druck in der Speicherkammer 31 gegenüber dem Druck in der Hydraulikkammer 36 ab. Der Wert der Druckdifferenz hängt von der Geschwindigkeit der Abstandsänderung zwischen dem oberen Ende der Ventilnadel 3, der Kopfplatte 10 und der Dimensionierung der Drosselstelle 22 ab.

Der Druckabfall in der Speicherkammer 31 ist beschränkt und kann maximal den Wert Hydraulikdruck abzüglich Umgebungsdruck betragen. Der Hydraulikdruck ist im Wesentlichen durch die Vorspannkraft der Druckfeder 28 und der druckwirksamen Fläche des Metallbalges 26 bestimmt.

Weiterhin ist die Drosselstelle 22 im Primärkolben 21 so ausgelegt, dass sich während der thermischen Vorgänge, die zeitlich im Bereich von einigen Sekunden bis Minuten liegen, Hydraulikflüssigkeit über die Drosselstelle 22 zwischen der Hydraulikkammer 36 und der Speicherkammer 31 ausgetauscht werden kann. Die Hydraulikflüssigkeit strömt dann solange von der Hydraulikkammer 36 über die Drosselstelle 22 in die Speicherkammer 31, bis sich der Hydraulikdruck in der Speicherkammer 31 einstellt und die Druckdifferenz verschwindet. Dann ist auch die volle Andruckkraft zwischen dem Stempel 24 und der Kopfplatte 10 wieder erreicht.

Beim Überströmen verringert sich die Höhe der Hydraulikkammer 36 während die Höhe der Speicherkammer 31 größer wird, so dass der Stempel 24 nach oben in Richtung auf die Antriebseinheit bewegt wird, bis der Kopfteil 242 des Stempels 24 wieder an der Kopfplatte 10 anliegt.

Unter der Annahme, dass die druckwirksame Fläche des Stempels 24, die durch den druckwirksamen Durchmesser des Metallbalgs 25 bestimmt wird,  $A_A$ , die druckwirksame Fläche des Primärkolbens  $A_P$  und die druckwirksame Fläche des Sekundärkolbens  $A_S$  ist, ergeben sich folgende Zusammenhänge für die Ausgleichswege von Stempel 24, Primärkolben 21 und Sekundärkolben 23:

Als erster Fall wird dabei betrachtet, dass die Lage des Sekundärkolbens 23 unverändert bleibt und ein Längenausgleich zwischen dem Primärkolben 21 und dem Stempel 24 erfolgt. Unter der Annahme, dass die x-Achse in Richtung des Einspritzventils auf die Antriebseinheit nach oben zeigt,

gilt

$$\begin{aligned} -A_P dx_P &= A_A d_{HS} \\ dx_A &= dx_P + d_{HS} \\ 5 \quad dx_P &= -dx_A A_A / (A_P - A_A) \end{aligned}$$

wobei

$$\begin{aligned} x_P &= \text{Lage des Primärkolbens;} \\ 10 \quad dx_P &= \text{Änderung der Lage des Primärkolbens;} \\ HS &= \text{Höhe des Speichervolumens;} \\ d_{HS} &= \text{Änderung der Höhe des Speichervolumens;} \\ x_A &= \text{Lage des Ausgleichskolbens;} \\ dx_A &= \text{Änderung der Lage des Ausgleichskolbens.} \end{aligned}$$

Aus den obigen Gleichungen ergibt sich, dass es für einen Längenausgleich zwischen dem Primärkolben 21 und dem Stempel 24 erforderlich ist, dass die in der Speicherkammer 31 wirksame Primärkolbenfläche größer ist, als die in der Speicherkammer 31 druckwirksame Fläche des Stempels 24. Unter der Annahme, dass die druckwirksame Primärkolbenfläche der doppelten Stempeldruckfläche entspricht, ist dann eine minimale Hydraulikkammerhöhe HS von 50 µm ausreichend, um eine Längenänderung zwischen dem Primärkolben 21 und dem Stempel 24 von 50 µm zu kompensieren.

Als zweiter Fall soll eine thermische Längendehnung betrachtet werden, bei der der Stempel 24 unverändert bleibt und ein Längenausgleich zwischen dem Primärkolben und dem Sekundärkolben erfolgen soll. Hier gilt dann:

$$\begin{aligned} -A_P dx_P &= -A_A dx_P - A_S dx_S \\ 30 \quad dx_P &= dx_S A_S / (A_P + A_A) \end{aligned}$$

wobei

$$\begin{aligned} x_S &= \text{Lage des Sekundärkolbens;} \\ dx_S &= \text{Änderung der Lage des Sekundärkolbens.} \end{aligned}$$

Unter der Annahme, dass auch hier die druckwirksame Fläche des Primärkolbens 21 in der Hydraulikkammer 36 die doppelte Größe der druckwirksamen Fläche des Sekundärkolbens 23 besitzt, kann mit einer Hydraulikkammerhöhe von 50 µm eine Längenänderung von 50 µm kompensiert werden.

Für eine zuverlässige Funktion des erfindungsgemäßen Übertragungsmoduls, insbesondere eine hermetische Abdichtung des Hydraulikflüssigkeit im Übertragungsmodul gegenüber der Kraftstoffkammer bzw. dem Antriebsteil, ist insbesondere die Verwendung der Metallbälge 25, 26, 27 zwischen dem Stempel 24, dem Primärkolben 21, der Lochplatte 20 und dem Sekundärkolben 23 von Vorteil. Für solche Metallbälge haben Simulationsrechnungen bzw. Versuche gezeigt, dass die an ihren Enden fixierte Balgwände mit mehreren Wellen bei fluidischer Druckbeaufschlagung ihr Volumen kaum ändert. Bspw. wird bei einem Druck vom 200 bar und einer Metallbalgeometrie mit zwölf Wellen, einem Innendurchmesser von 3,5 mm, einem Außendurchmesser von 5,3 mm, einer Wanddicke von 100 µm und einer Wandlänge von 12,1 mm ein von der Balgwand eingeschlossenes Volumen von ca. 169,963 mm<sup>3</sup> gegenüber einem Volumen von 169,386 mm<sup>3</sup> im drucklosen Zustand einstellen. Dies entspricht einer Volumenvergrößerung von nur 0,581 mm<sup>3</sup> durch die Druckbeaufschlagung. Unter der Annahme, dass die Hydraulikflüssigkeit inkompressibel ist, ergibt sich eine scheinbare Kompressibilität des Hydraulikmediums von 0,1715/GP<sub>A</sub>. Diese scheinbare Kompressibilität ist also äußerst gering z. B. im Vergleich zu einer Kompressi-

bilität von Dieselkraftstoff unter Normalbedingungen von 0,685/GPa. Dies bedeutet, dass die Steifigkeit eines aus Metallbälgen aufgebauten hydraulischen Übertragungsmoduls im Wesentlichen durch den Volumeninhalt der Hydraulikflüssigkeit im Übertragungsmodul bestimmt wird. Um schnelle Schaltvorgänge im Einspritzventil erreichen zu können, ist es deshalb von Vorteil, das Volumen der Hydraulikflüssigkeit im Übertragungsmodul minimal zu halten.

Weiterhin besteht auch die Möglichkeit die mechanische Funktion der Druckfeder 28, die durch Belastung des Primärkolbens 21 den Basisdruck auf die Hydraulikflüssigkeit im Übertragungsmodul einstellt, teilweise oder ganz durch eine Federwirkung des Metallbalgs 26 zu ersetzen. Hierzu ist es erforderlich, den Metallbalg 26 dann unter einer entsprechenden Vorspannung zwischen dem Primärkolben 21 und der Lochplatte 20 einzuschweißen.

Weiterhin ist der Einsatz von Balgwellen bei den Metallbälgen vorteilhaft, da hierdurch eine sehr kleine axiale Federkonstante für den Metallbalg eingestellt werden können. Die axialen Deformationen des Metallbalges durch eine Druckbelastung sind zwar durchaus nicht gering, heben sich aber genau wie die auf die einzelnen Balgwellen wirkenden Kräfte in ihrer Summe über die Gesamtlänge des Metallbalges nahezu auf. Als besonders günstige Form für die Balgwellen hat sich eine aus, im Längsschnitt betrachtet aneinandergefügte Halbkreissegmenten bestehende Geometrie erwiesen. Gegenüber einem sinusförmigen Wellenlauf weist die aus Halbkreissegmenten bestehende Wandung geringere mechanische Spannungen in axialer Richtung bei höherer axialer Nachgiebigkeit auf.

Gemäß der Erfindung wird ein Übertragungsmodul bereitgestellt, das einen einfachen und modularen Aufbau hat und sich so deshalb leicht in einem Einspritzventil montieren lässt. Weiterhin kann durch geeignete Abstimmung der Primärkolbenfläche zur Sekundärkolbenfläche der Hub des Aktors in Bezug auf den Nadelhub übersetzt werden. Darüber hinaus gewährleistet das Übertragungsmodul eine selbsttätige Kompensation von Längenänderungen im Einspritzventil. Der Einsatz von Metallbälgen zur Verbindung der einzelnen Bauteile des Übertragungsmoduls sowie zur Abdichtung der Speicherkammer 31 und der Hydraulikkammer 36 sorgt für eine standfeste hermetische Abdichtung der Hydraulikflüssigkeit gegenüber der Kraftstoffkammer 13 und dem Antriebsteil.

Die in der vorstehenden Beschreibung, den Zeichnungen und den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausgestaltungen von Bedeutung sein.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Übertragen der Bewegung eines Aktors (8) auf ein Stellglied (3) mit einem Übertragungsmodul (19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28), das eine Wirkverbindung zwischen dem Aktor (8) und dem Stellglied (3) herstellt und eine Hydraulikkammer (36) und eine Speicherkammer (31) festlegt, die mit einem hydraulischen Medium gefüllt sind und über eine Drosselstelle (22) miteinander in Verbindung stehen, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Übertragungsmodul ein erstes, ein zweites und ein drittes Kolbenelement (21, 23, 24) aufweist, wobei das erste Kolbenelement (24) sich in Kontakt mit dem Aktor (8) und das dritte Kolbenelement (23) sich in Kontakt mit dem Stellglied (3) befindet und das zweite Kolbenelement (21) beweglich und mit einer druckwirksamen Kraft beaufschlagt zwischen dem ersten und dritten Kolbenelement angeordnet ist, so dass zwischen dem ersten Kolbenelement (24) und dem zweiten Kolbenelement (21) die Speicherkammer (31) und zwischen dem zweiten Kolbenelement (21) und dem dritten Kolbenelement (23) die Hydraulikkammer (36) ausgebildet ist.

men Kraft beaufschlagt zwischen dem ersten und dritten Kolbenelement angeordnet ist, so dass zwischen dem ersten Kolbenelement (24) und dem zweiten Kolbenelement (21) die Speicherkammer (31) und zwischen dem zweiten Kolbenelement (21) und dem dritten Kolbenelement (23) die Hydraulikkammer (36) ausgebildet ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Hub, den der Aktor (8) beim ersten Kolbenelement (24) des Übertragungsmoduls erzeugt, vom dritten Kolbenelement (23) des Übertragungsmoduls auf das Stellglied (3) entsprechend dem Verhältnis der druckwirksamen Flächen des zweiten Kolbenelements (21) und des dritten Kolbenelements (23) in der Hydraulikkammer (36) übertragen wird.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Kolbenelement (21) im Übertragungsmodul an Metallbälgen (25, 26) aufgehängt ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Metallbälge (25, 26) sich aus Halbkreissegmenten zusammensetzen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Halbkreissegmenten der Metallbälge (25, 26) jeweils gerade Teilstücke vorgesehen sind.

6. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die druckwirksame Fläche des zweiten Kolbenelements (21) in der Speicherkammer (31) größer als die druckwirksame Fläche des ersten Kolbenelements (24) in der Speicherkammer ist.

7. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Kolbenelement (21) topfförmig ausgebildet ist, wobei in einer Bodenfläche (211) die Drosselstelle (22) ausgebildet ist, dass das erste Kolbenelement (24) stempelförmig ausgebildet ist und mit einem Fußteil (241) in das topfförmige zweite Kolbenelement (21) eingreift, wobei das erste Kolbenelement (24) von einem ersten Metallbalg (25) gehalten wird, der zwischen dem Kopfteil (242) des ersten Kolbenelements (24) und der Bodenfläche (211) des zweiten Kolbenelements (21) angeordnet ist, und wobei das zweite Kolbenelement (21) von einem zweiten Metallbalg (26) auf einer Lochplatte (20) gehalten wird, und dass das dritte Kolbenelement (23) scheibenförmig ausgebildet ist und mit einem dritten Metallbalg (27) in der Lochplatte (20) festgehalten wird.

8. Vorrichtung gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Kolbenelement (21) von einem Federelement (28) druckbelastet wird.

9. Vorrichtung gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Metallbalg (25) oder der zweite Metallbalg (26) vorgespannt ist.

10. Fluiddosierer mit einem Piezo-Aktor (8) und einer Ventilnadel (3), wobei die Bewegung des Piezo-Aktors (8) auf die Ventilnadel (3) mit einer Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9 übertragen wird.

11. Fluiddosierer gemäß Anspruch 10, mit einem weiteren Metallbalg (15) als Durchföhrungselement für das hintere Ende der Ventilnadel (3) von einer Fluidkammer (13) nach außen zum dritten Kolbenelement (23) der Vorrichtung zum Übertragen der Bewegung des Piezo-Aktors (8) auf die Ventilnadel (3).

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen



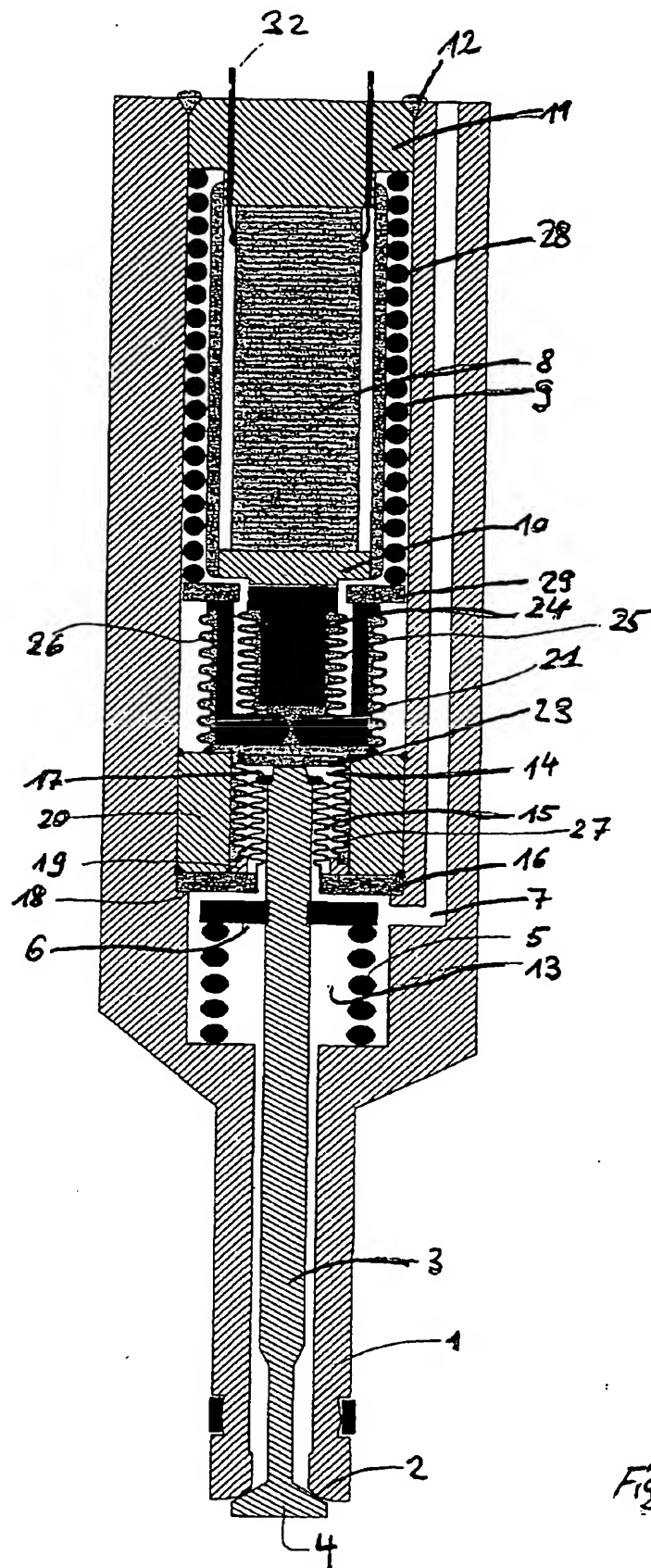


Fig 1

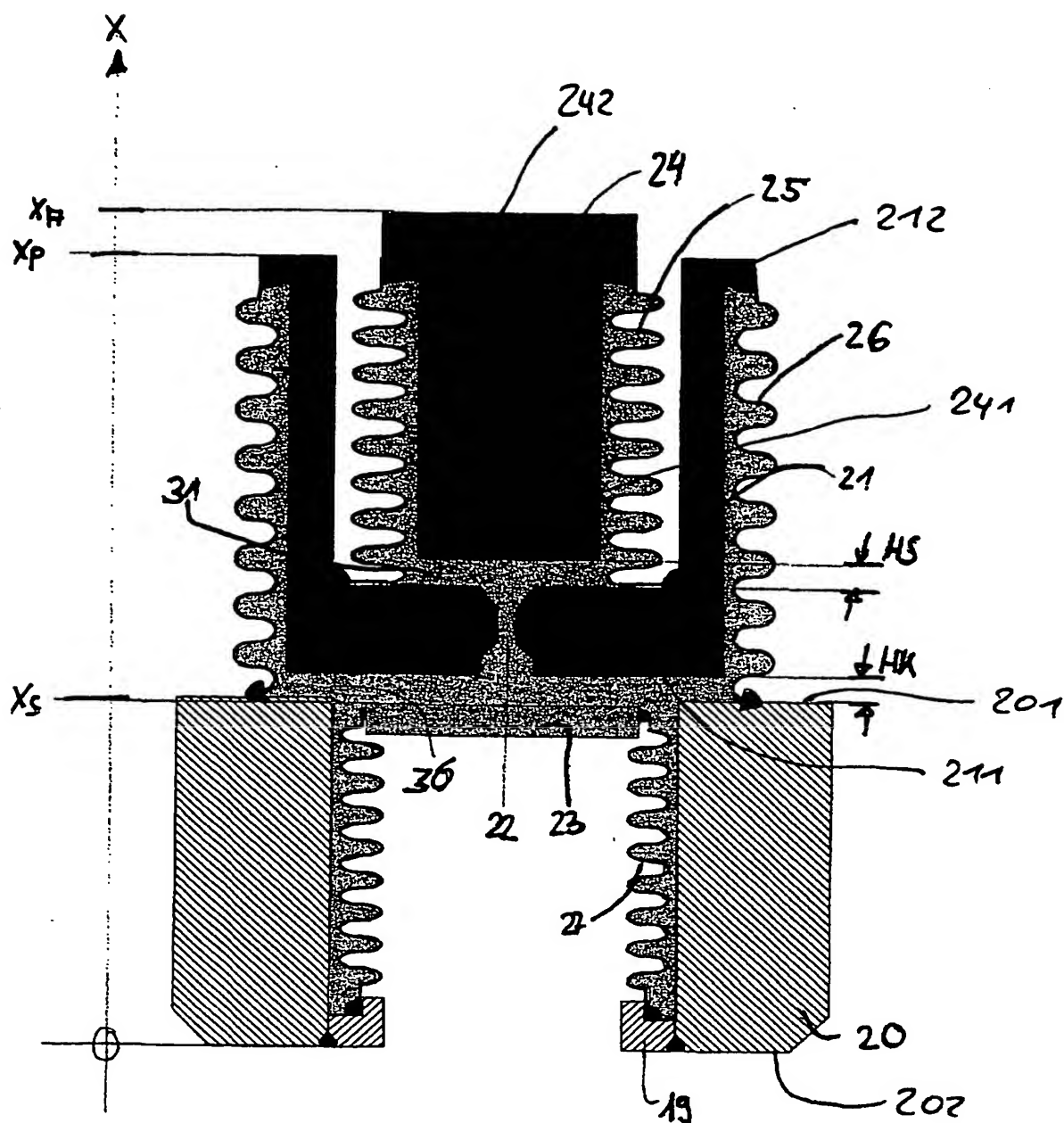


Fig. 2